

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra informatiky

**Zobrazení a zpracování dat při měření
harmonických signálů**
**Measurement, signal processing and viewing
of harmonics signals**

Zadání:

Cílem bakalářské práce je vytvořit softwarovou aplikaci využitelnou pro laboratorní měření v elektrotechnice.

1. Seznámení se s problematikou měření pomocí PC, především s multifunkčními měřicími kartami do PC.
2. Seznámení se se softwarovými prostředky pro počítačové měření, zejména systém LabVIEW.
3. Návrh software pro jednoduché měření a zobrazení časových průběhů a fázorových diagramů v obvodech s harmonickými signály.
4. Realizace tohoto software a jeho ověření.

Vedoucí:

Ing. Václav Kolář, Ph.D.

Diplomant:

Milan Vyvlečka

Prohlášení studenta:

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Novém Jičíně dne

.....

Milan Vyvlečka

Poděkování :

Děkuji vedoucímu práce, panu Ing. Václavu Kolářovi, Ph.D., za odborné vedení, cenné připomínky a rady při zpracování této bakalářské práce.

Abstrakt

Cílem této bakalářské práce byl návrh a realizace softwarové aplikace využitelné pro laboratorní výuku při měření v elektrotechnice. Tato práce se zabývá problematikou měření harmonických průběhů napětí a proudů, jejich následným zpracováním a zobrazením ve formě fázorových diagramů. Samotná aplikace pro vizualizaci naměřených dat byla vytvořena v grafickém vývojovém prostředí LabView.

Klíčová slova

Měřicí karty, měřicí systém, sběr dat, zpracování dat, BUS, grafická vývojová prostředí, LabView, harmonická analýza, střídavý proud, střídavé napětí, harmonická, neharmonická, periodická funkce, fourierova řada, analýza, spektrum signálů, frekvenční pásmo, činitel zkreslení.

Abstract

The aim of this thesis was proposal and realisation of software application available to electrotechnic measuring in laboratory education. This work is dealing with the problems of harmonic voltage and currents course measurement, their subsequent processing and representation in phasor diagrams. The application for measurement visualization was created in graphic development LabView environment.

Keywords

Measuring cards, measuring system, data collection, data processing, BUS, graphics development environment, Lab View, harmonic analysis, alternating current, alternating voltage, harmonic, inharmonic, periodic function, fourier line, analysis, spectrum signal, frequency band, distorsion factor.

Obsah

1 Úvod.....	1
2 Měřicí zásuvné karty.....	2
2.1 Popis.....	2
2.2 Multifunkční měřicí karty.....	2
2.3 Jednoúčelové vstupně výstupní karty.....	3
2.4 Příslušenství karet.....	3
3 Modulární měřicí systémy.....	4
3.1 VME BUS.....	4
3.2 VXI BUS.....	5
3.3 Nestandardizované BUS.....	5
3.4 FIELDBUS.....	6
3.5 Měřicí systémy RS232C.....	6
3.6 Měřicí systém GPIB.....	8
3.7 Měřicí systémy USB.....	9
4 Programové prostředky.....	10
4.1 Požadavky	10
4.2 Ovladače (drivers).....	11
4.3 Vývojová prostředí.....	11
4.4 Aplikační programy.....	12
5 Harmonická analýza.....	13
5.1 Hodnoty střídavého proudu a napětí.....	13
5.2 Harmonické a neharmonické periodické funkce.....	15
5.3 Fourierova řada.....	18
5.4 Metody analýzy.....	19
5.5 Spektrum signálů.....	21
5.6 Šířka frekvenčního pásma.....	22
5.7 Činitel zkreslení (THD).....	22
6 Realizace aplikace.....	23
6.1 Použité vývojové prostředí – LabView 8.5.....	23
6.2 Multifunkční měřicí karta pro sběr dat.....	24
6.3 Zapojení pracoviště.....	25
6.3.1 Použité přístroje.....	25
6.3.2 Měřicí pracoviště.....	26
6.4 Fázoroskop.....	26
6.4.1 Popis aplikace.....	26
6.4.2 Vývojový diagram.....	27
6.4.3 Ovládání.....	28
6.5 Příklady naměřených dat.....	29

7 Závěr.....	30
8 Literatura.....	31
8.1 Literatura.....	31
8.2 Internetové zdroje.....	31
9 Přílohy.....	32
9.1 Seznam příloh.....	32
9.1.1 I. Hlavní blokový diagram.....	33
9.1.2 II. Schéma zapojení „vstupního převodníku“	34
9.1.3 III. Obsah CD-ROM.....	35

Seznam použitých zkratk

ADC	Analog-to-Digital Converter
ASCII	American Standard Code for Information Interchange
ATN	attention
CTS	clear to send
DAC	Digital-to-Analog Converter
DAV	Data Valid
DCD	Data Carried Detect
DCE	Distributed Computing Environment
DIO	Digital Input Output
DOS	Disk Operating System
DSO	Digital Sampling Oscilloscope
DSR	Data Set Ready
DTB	Data Transfer Bus
DTBAB	DTB Arbitration Bus
DTE	Data Terminal Equipment
DTR	Data Terminal Ready
DV	dlouhé vlny
EISA	Extended Industry Standard Architecture
EOI	end or identify
FFT	Fast Fourier Transform
GND	ground
HPIB	Hewlett Packard Interface Bus
IFC	interface clear
ISA	Industry Standard Architecture
LabView	Laboratory Virtual Instruments Engineering Workbench
LAN	Local Area Network
MCA	Micro Channel Architecture
MUX	multiplexer
MXI	Multisystem eXtension Interface
NDAC	not data accepted
NRFD	not ready for data

PC	Personal Computer
PCI	Peripheral Component Interconnect
PCMCIA	Peripheral Component MicroChannel Interconnect Architecture, později Personal Computer Memory Cards International Association
PGN	protective ground
PLC	Programmable Logic Controller
REN	remote enable
RI	ring indicator
RTS	request to send
RxD	received data
SRQ	service request
SW	Software
TTL	Transistor–transistor logic
TxD	transmitted data
UB	Utility Bus
UHF	Ultra high frequency
USB	Universal Serial Bus
VME	Versa Module Europa
VXI	VMEbus eXtensions for Instrumentation

1 ÚVOD

Měření pomocí PC, přesun dat z převodníku fyzikální veličiny do paměti počítače – to byla velká výzva dodavatelům PC techniky již od počátku využívání osobních počítačů. Bylo vyvinuto mnoho systémů pro využití počítače v aplikacích měření a regulace. Lze je rozdělit na dvě hlavní skupiny.

- Centralizované měření a sběr dat například pomocí zásuvných I/O PC karet.
- Distribuované měření které využívá komunikačních rozhraní PC ke stažení dat z nezávislých měřicích modulů.

Centralizované měření je dnes typické hlavně pro laboratoře a řízení samostatných strojů. Jeho hlavní výhodou je těsné spojení prostředku sběru dat s hardwarem PC které umožňuje prakticky nejrychlejší přesun dat z převodníku do paměti počítače i rychlé a komfortní ovládání měřicí karty. Nevýhodou je složitá instalace – stolní počítač je třeba rozebrat a do notebooku nelze ve většině případů měřicí kartu vůbec instalovat. Je zde i nebezpečí rušení měřicí jednotky vlastním hardwarem PC, hlavně pulsním napájecím zdrojem.

Distribuované měření je typické pro velké technologické celky. K připojení měřicích jednotek je ve většině případů použita sběrnice založená na sériové asynchronní komunikaci. Tím je limitována rychlost přenosu dat a následně i rychlost měření. Sériová dvou vodičová sběrnice se dá však mnohem lépe zajistit proti ovlivnění elektromagnetickým rušením.

Zajímavým hybridem, spojujícím spíše pozitivní prvky obou řešení, jsou měřicí moduly komunikující s PC prostřednictvím USB rozhraní. USB (Universal Serial Bus) byla zamýšlena jako rychlá náhrada standardního rozhraní RS-232. Jednotka není ovlivňována rušením vznikajícím uvnitř PC. Lze použít libovolné PC nebo notebook a není třeba se starat o počet a typ volných slotů interní sběrnice [8].

Samotná bakalářská práce je více zaměřena na centralizované měření. Úvod této práce seznamuje s měřicími zásuvnými kartami. V následujících kapitolách jsou popsány používané měřicí systémy a jejich stručná charakteristika. Dále je zde rozebrána problematika vývojového prostředí a softwarového vybavení pro realizaci možných aplikací používajících měřicích karet. Následuje popis harmonické analýzy a způsobu měření, jenž bylo využito pro zpracování dat v navržené aplikaci. V závěru je popsána samotná aplikace, její přínos a možnosti využití.

2 MĚŘICÍ ZÁSUVNÉ KARTY

2.1 Popis

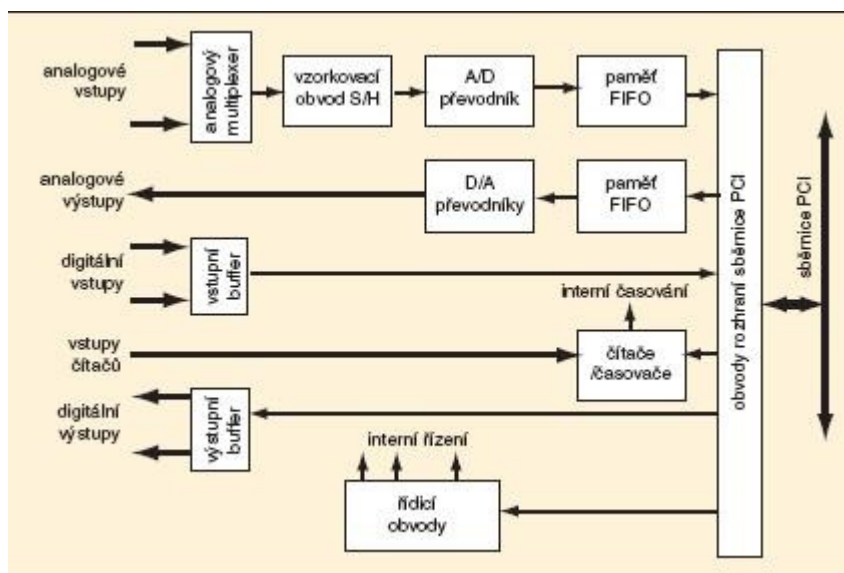
Měřicí zásuvné karty jsou karty, které se instalují do slotů počítače (ISA, EISA, MCA, PCI, PCMCIA). Slouží ke sběru dat a řízení technologií, nebo nacházejí uplatnění při vytváření laboratorních měřicích systémů. Vstupní veličinou těchto karet je elektrické napětí. Výstupní veličinou může být elektrické napětí nebo proud [3, 9].

Tyto přídatné karty obsahují ADC, DAC, čítače, filtry, digitální vstupy a výstupy.

Karty umožňují sestavit jeden z nejlevnějších měřicích systémů, jeho velikost však omezuje počet volných pozic slotů v PC, průmyslovému rozšíření brání menší spolehlivost a menší odolnost vůči vnějším vlivům.

2.2 Multifunkční měřicí karty

Sdružují nejčastěji funkce vícekanálového analogového vstup/výstupního obvodu, čítače impulsů (úroveň TTL, CMOS) a číslicových vstup/výstupních obvodů (DIO) [9].



Obr. 1 Blokové schéma multifunkční měřicí karty

V analogové části analogový multiplexor ((A)MUX) umožňuje připojit více zdrojů analogových signálů (obvykle 8 nebo 16), jeden vybraný signál se dále zesílí diferenčním

přístrojovým zesilovačem s programovatelným ziskem (někdy se nastavuje přepínači nebo jumpery na kartě, případně je úplně vynechán), vzorkovač S/H (sample/hold) umožňuje zachytit okamžitou hodnotu měřeného signálu pro další zpracování, následuje ADC (analogově digitální převodník) s postupnou aproximací o rozlišení 12 / 16 bitů, rušivé signály však není schopen potlačit – nutný filtr. Časování je řízeno čítačem/časovačem, který je možno použít i pro měření počtu impulsů (TTL), frekvence nebo jejich generování, referenční kmitočet $f_0 = 100\text{kHz}$ až 10MHz je pro vysokou stabilitu získán z krystalového oscilátoru (případně vydělen nebo násoben).

Pro generování analogových signálů bývají až 4 převodníky DAC (digitálně analogové) s rozlišením 8/12 bitů. K ovládání výkonových spínačů, čtení bitů apod. je určen kanál DIO, většinou 4 až 24 bitů TTL (příp. výstup doplněn výkonovými relé, tranzistory, tyristory; vstup optrony). Pro větší rychlosti snímání (např. v režimu osciloskopu $> 100\text{kSa}$) není možno hodnoty přímo přenášet do PC, jsou tedy nutné rychlé vyrovnávací paměti.

2.3 Jednouúčelové vstupně výstupní karty

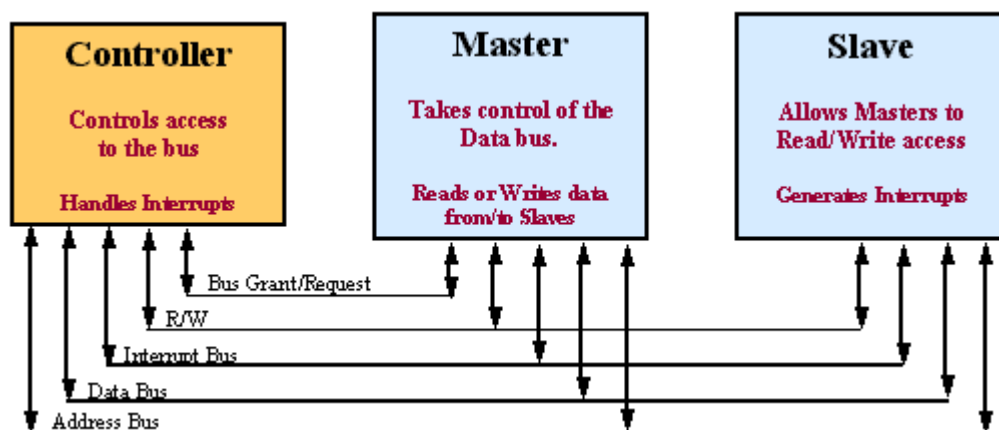
Neobsahují všechny výše uvedené díly, jsou většinou úzce zaměřeny na konkrétní aplikace, často používají galvanicky oddělené číslicové vstupy, výkonové (reléové) výstupy, signálové filtry, budiče krokových motorků, snímače polohy (inkrementální – např. MOUSE).

2.4 Příslušenství karet

Doplňuje měřicí systém o přizpůsobení a úpravu signálu, propojovací svorky a kabely, protože měřený objekt nelze připojit přímo k měřicí kartě. U analogových signálů je nutno potlačit impulsní a vf rušení, aliasing – většinou postačují pasivní RC filtry, dolní propusti 2. řádu, někdy aktivní sondy pro zvětšení vstupního odporu a snížení vstupní kapacity. Číslicové vstup/výstupní obvody se oddělují galvanicky (optron, transformátor) nejčastěji na 1500V .

3 MODULÁRNÍ MĚŘICÍ SYSTÉMY

3.1 VME bus



Obr. 2 VME bus systém

Je průmyslovým standardem pro automatické měření a sběr dat i pro výkonné řídicí systémy. VME systém se skládá ze základního rámu (sběrnice BUS, zdroje, chlazení) pro 21 pozic se zásuvnými moduly, na první pozici musí kromě uživatelských funkcí splňovat i požadavky standartu (řídicí funkce). Zásuvné moduly jsou 2 velikostí (nižší 16bitů, vyšší 32bitů). Systém je multiprocessorový a přes BUS sdílí prostředky dalších modulů.

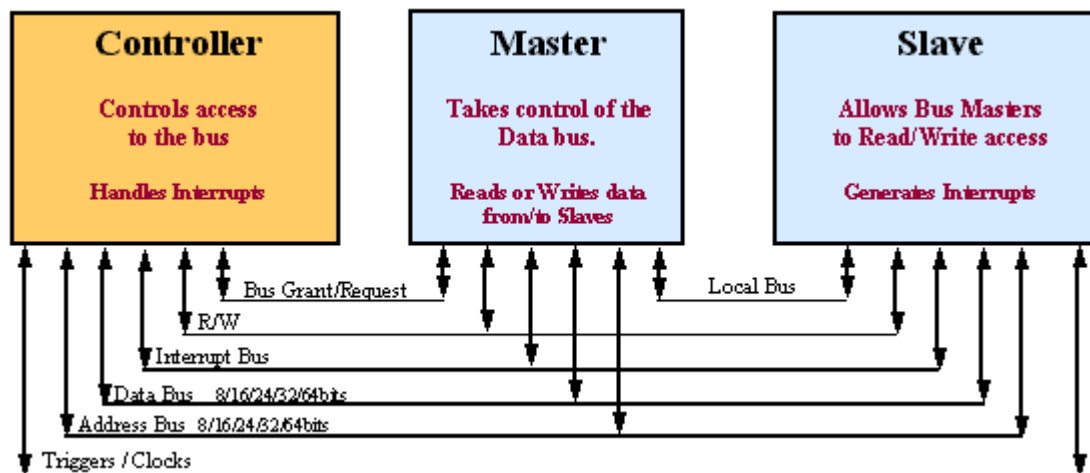
BUS VME se dělí :

1. Pro přenos dat DTB (data transfer bus).
2. Arbitrážní pro přidělení bus DTBAB.
3. Pro prioritní přerušení PIB.
4. Pro služby UB (utility BUS)

Maximální rychlost BUS činí okolo 40Mbps pro 32bitový přenos. VME je otevřený průmyslový systém se stavebními prvky – základní jednotky, moduly řídicích počítačů, komunikační moduly, měřicí a akční členy. Řídicí počítače používají mikroprocesory MOTOROLA řady 68000 nebo INTEL řady 80x86, existují speciální moduly s digitálními signálovými procesory nebo grafikou. Komunikační moduly podporují síťové služby LAN. Měřicí a akční moduly se vyrábějí ve 2 kategoriích – jednoduché bez vlastní inteligence (digitální a analogové vstup/výstupní obvody), druhé typy jsou schopny vykonávat vlastní

algoritmus – sběr a zpracování dat, řízení motorů, zpracování obrazu [11].

3.2 VXI bus



Obr. 3 VXI bus systém

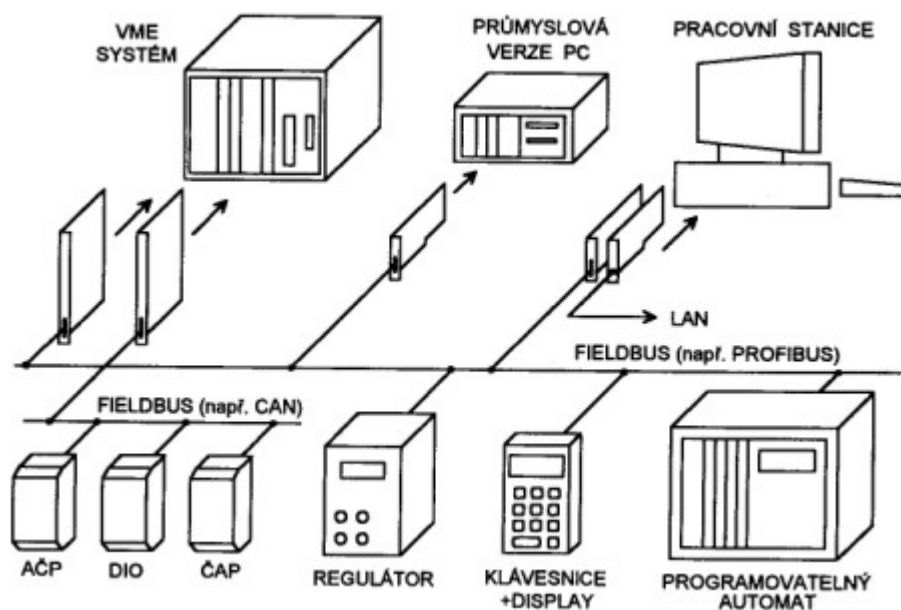
Je rozšířením standartu VME, aby bylo možno dosáhnout parametrů srovnatelných s IEEE488 (přesnost, elektromagnetická kompatibilita, synchronizace spouštění apod.), moduly plně nahrazují samostatné měřicí přístroje (např. 6a1/2 místný multimetr, 200MSa digitální osciloskop). Základní jednotka obsahuje maximálně 13 pozic pro zásuvné moduly, v pozici 0 musí splňovat požadavky VME i VXI. Vyrábějí 4 velikosti modulů (šířka A, B; délka C,D), bus podporuje další funkce (přístrojové aplikace, cesty pro přenos dat mezi moduly, automatická konfigurace systému – správce prostředků v pozici 0). Moduly se vyrábějí jako multimetry, funkční generátory, čítače, spektrální analyzátory, osciloskopy, AD a DA převodníky, digitální vstup/výstupní obvody, multiplexery atd. VXI lze také kaskádně propojit přes speciální bus MXI nebo ji lze řídit hostitelským počítačem PC [11].

3.3 Nestandardizované bus

Se používají v případech, kdy předchozí systémy nesplňují všechny požadavky zákazníků (počet měřicích míst, vzdálenost objektu, odolnost proti rušení, galvanické oddělení apod.). Nestandardizované moduly se propojují přes jednoúčelová paralelní rozhraní do slotů PC nebo IEEE488/RS232. Vnitřní propojení zajišťuje nestandardní paralelní bus i s podporou analogových signálů.

3.4 FIELDBUS

Je to označení pro distribuovaný měřicího systému. Používá se při vzdálenostech 10 až 100m pro sériový přenos digitálních signálů v sítích sběrnice nebo kruhového typu. Systémy se skládají z řídicích jednotek MASTER a podřízených jednotek SLAVE, většinou mají distribuovanou inteligenci, naměřené hodnoty jsou před přenosem vhodné předzpracovány.



Obr. 4 Rozsáhlý průmyslový systém s distribuovanou inteligencí

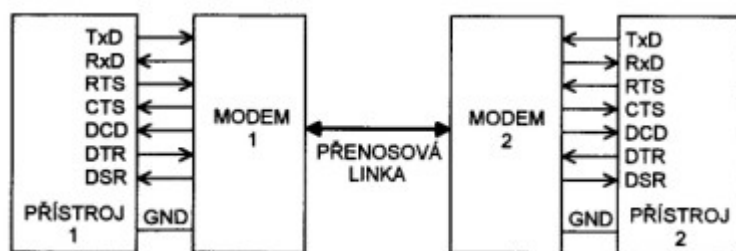
Ve většině případů se propojuje sériovým standardem RS 485 po krouceném dvoudrátě, vyznačuje se podporou až 32 přijímačů, počet vysílačů není omezen, nízká charakteristická impedance a symetrizace zvyšuje odolnost proti rušení, maximální rychlost 10Mbps, maximální délka 1200m, maximální hodnota součinu délky a rychlosti je 1 000 000 000 m * bps [1].

3.5 Měřicí systémy RS232C

Propojují koncová datová zařízení DTE (data terminal equipment) – např. PC, terminál, měřicí přístroj přímo nebo přes komunikační datové zařízení DCE (data communication equipment – modem). Používá se většinou jen u levnějších měřicích přístrojů, speciálních měřicích modulů, inteligentních snímačů, programovatelných automatů PLC apod. Hlavními nedostatky jsou nízká přenosová rychlost (110, 300, 600, 1200, 2400, 9600, 19200 Bd) a dvoubodové připojení (hvězda). Signály je však možné galvanicky oddělit optrony.

Pro přenos využívá 9 signálů pro modemovou komunikaci, při bezmodemové komunikaci postačují 2 nebo 4 signály :

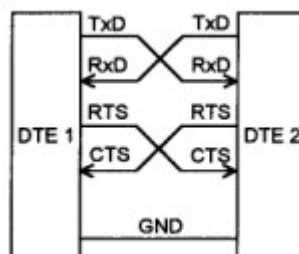
PGN	protective ground	ochranná zem
TxD	transmitted data	vysílání dat z DTE
RxD	received data	příjem dat do DTE
RTS	request to send	sdělení z DTE o připravenosti příjmu
CTS	clear to send	sdělení z DCE o připravenosti příjmu z DTE
DSR	dat set ready	sdělení z DCE o funkčnosti a připravenosti komunikovat
GND	ground	signálová zem
DCD	data carried detect	sdělení z DCE o detekci signálu z druhého modemu
DTR	data terminal ready	sdělení z DTE o funkčnosti a připravenosti komunikovat
RI	ring indicator	sdělení z DCE o vyzvánění na lince



Obr. 5 Blokové zapojení přístrojů při standardní modemové komunikaci

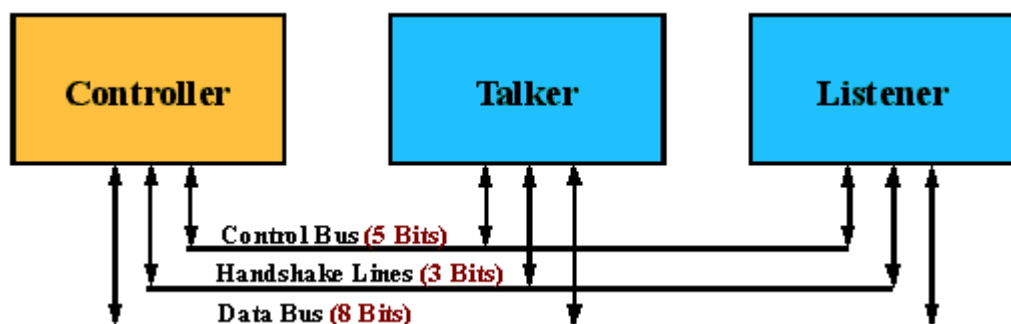
Při bezmodemové komunikaci se v nejjednodušší verzi využívají jen 2 aktivní signály TxD a RxD, přenos se řídí pouze SW, připravenost příjmu se ohlašuje Xon (ASCII 19), neschopnost zpracování Xoff (ASCII 17) – přeruší se vysílání, možno přenášet jen kódy v ASCII, proto je přenos pomalejší. Druhý způsob používá HW handshaking další 2 linkami RTS a CTS (někdy i DTR a DSR, příp. DCD), zcela výjimečně RI, umožňuje rychlejší přenos

buď v ASCII, 8bitů binárně bez úprav nebo HEX 7bitů formátu s paritou [1].



Obr. 6 Bezmodemové propojení – příklad pětivodičového zapojení

3.6 Měřicí systém HPiB



Obr. 7 HPiB systém

Používá pro propojení normalizovanou paralelní bus, umožňující připojení vyššího počtu funkčních jednotek k řídicímu počítači (ústředně) při větší rychlosti dat až 1MB/s na vzdálenost až 20m (pozn. při překročení délky nedojde ke zrušení přenosu, jen je třeba snížit komunikační rychlost). Standart vznikl na základě firemní propojovací soustavy firmy Hewlett Packard a je také označován jako IEEE488, IEC625, GPIB nebo IMS2, umožňuje propojit až 15 funkčních jednotek (měřicí přístroje, přepínače měřicích míst - MUX, programovatelné zdroje signálů, čítače atd.) speciálními dvojíty konektory s 25 kontakty (označované CANON 25 nebo DB 25). Funkční jednotky i řídicí počítač mohou být podle potřeby naadresovány buď na vysílání dat (funkce mluvčí – Talker) nebo na příjem dat (funkce posluchač – Listener). Vlastní bus se skládá ze 24 vodičů, z čehož je 8 uzemněno (signálová

zem – stínění) a zbývajících 16 aktivních rozděleno do 3 skupin :

Datové vodiče DIO1 až DIO8 určené pro přenos dat, adres a více vodičových příkazů.

Vodiče pro řízení asynchronního přenosu dat:

DAV (data valid) – indikuje platnost dat na DIO

NRFD (not ready for data) – jednotky nejsou schopny přijímat data

NDAC (not data accepted) – jednotky data ještě nepřijaly

Vodiče pro jednovodičové příkazy zprávy rozhraní:

ATN (attention) – indikuje, zda po DIO jsou přenášena data nebo adresy a více vodičové příkazy

IFC (interface clear) – uvádí rozhraní jednotek do výchozího stavu

REN (remote enable) – uvádí jednotky do režimu dálkového ovládání

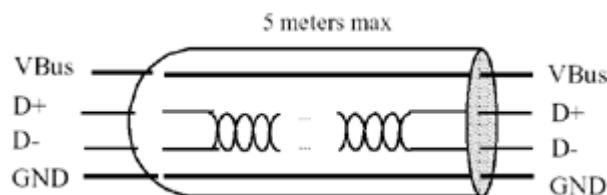
SRQ (service request) – žádost jednotek o asynchronní obsluhu

EOI (end or identify) – používá se pro označení konce bloku dat nebo umožnění paralelní žádosti o obsluhu

Při komunikaci se používá potvrzování platnosti (handshaking), jednotky před použitím se musí naadresovat (5bitů) a nastavit do režimu posluchače nebo mluvčího (2bity), tvar a složení vysílacího řetězce závisí na výrobcí a typu přístroje, některé funkce jsou dnes standardizovány. Přenos se uskutečňuje jako řetězec ASCII znaků nebo rychlejší jako blok 8bitů binárních dat [11].

3.7 Měřicí systémy USB

I/O jednotky připojené přes USB sběrnici patří spíše do skupiny prostředků centralizovaného měření. USB není možné používat k přenosu dat na velké vzdálenosti, zvláště v prostředí s vysokou úrovní elektromagnetického rušení. Velké množství kabelů s měřenými signály není třeba vést až k samotnému PC, to že jsou jednotky připojeny jedním tenkým USB kabelem podstatně zvyšuje flexibilitu uspořádání celého systému.



Pin	Jméno	Barva	Popis
1	VBus	Red	+5 VDC
2	D-	White	Data -
3	D+	Green	Data +
4	GND	Black	Ground

Obr. 8 USB rozhraní

Rychlost přenosu dat rozhraním dle standardu USB 2.0 již umožňuje měření stejnou vzorkovací rychlostí jako u standardních I/O PC karet. Teoretická linková rychlost rozhraní USB 2.0 je 480 Mbit/s, reálná propustnost rozhraní závisí na mnoha okolnostech – hlavně na použitém řadiči a způsobu SW obsluhy. Obvykle se reálná propustnost uvažuje v rozmezí 25% – 35% teoretické linkové rychlosti. I pak je však možné přenést data ze šestnáctibitového A/D převodníku při vzorkování rychlostí 500 kS/s na šestnácti kanálech.

4 PROGRAMOVÉ PROSTŘEDKY

4.1 Požadavky

Použitelné programové prostředky (SW), způsob programování systémů pro měření, sběr a zpracování dat závisí zejména na :

- struktury měřicího systému
- typu řídicího počítače
- použitém operačním systému
- požadavcích na rychlost zpracování a rozsah použité paměti
- náročnosti programování

S tím souvisí výkonnost systému, některé požadavky jsou protichůdné, zpracování

programů v grafickém vývojovém prostředí bývá až o řád delší než v jazyku C (závisí od případu). Uživatel měřicích systémů není většinou profesionální programátor a bylo by pro něj obtížné často se opakující programy vyvíjet, proto výrobci nabízejí následující programové prostředky :

- ovládače karet a rozhraní, volané jako podprogramy z vyšších programovacích jazyků
- knihovny podprogramů pro zpracování a prezentaci dat
- firemní aplikační programy
- vývojové prostředí pro vytváření zdrojových programů
- grafická vývojová prostředí
- uživatelské programové balíky

4.2 Ovladače (drivers)

Jsou speciální obslužné programy zajišťující ovládání technického prostředku – zásuvné karty, měřicího přístroje nebo modulu, periferie počítače standardním způsobem. Prostřednictvím ovladače je možné provádět jak nastavení konkrétního prvku měřicího systému a jeho přípravu pro měření, tak vlastní měření vč. přenosu naměřených dat do počítače.

Ovladače jsou realizovány buď jako standardní ovladače DOSu a instalovány při konfiguraci operačního systému podle informací v souboru CONFIG.SYS, jako rezidentní programy vyšších programovacích jazyků, u Windows jsou to knihovny *.dll nebo virtuální ovladače. Knihovny podprogramů pro zpracování, prezentaci a archivaci dat jsou velmi důležitými programovými prostředky usnadňujícími vývoj uživatelských aplikací, jsou vždy určeny pro konkrétní implementaci určitého programovacího jazyka.

4.3 Vývojová prostředí

Pro tvorbu uživatelských aplikačních programů jsou programové prostředky schopné generovat jednotlivé instrukce, sekvence instrukcí nebo i celé programy pro sběr nebo zpracování dat v měřicích systémech. *Prostředí pro generování zdrojového textu* programů zjednodušuje vytváření programového vybavení pro všechny složky měřicího procesu – tj. řízení měření, sběr dat, jejich zpracování a interpretaci výsledků. Tyto knihovny mají grafická uživatelská rozhraní – funkční stromy a grafické panely, do kterých programátor zadává potřebné parametry, tato prostředí vyžadují znalost příslušného vyššího programovacího jazyka.

Grafická vývojová prostředí usnadní tvorbu aplikací uživatelům s nižší úrovní znalostí programování. Vývoj měřicího nebo testovacího programu spočívá v sestavení blokového diagramu z předdefinovaných objektů a jejich propojení cestami signálových toků. Oproti klasickému programování umožňuje podstatně urychlit vývoj i odladění aplikačních programů.

Jednotlivé objekty umožňují generování a sběr dat, matematické zpracování a analýzu naměřených hodnot, ukládání či předávání dat na různá výstupní zařízení, řízení běhu programu a grafickou prezentaci výsledků. Objekty mohou být zobrazeny ve formě ikony nebo svého virtuálního panelu – LabView.

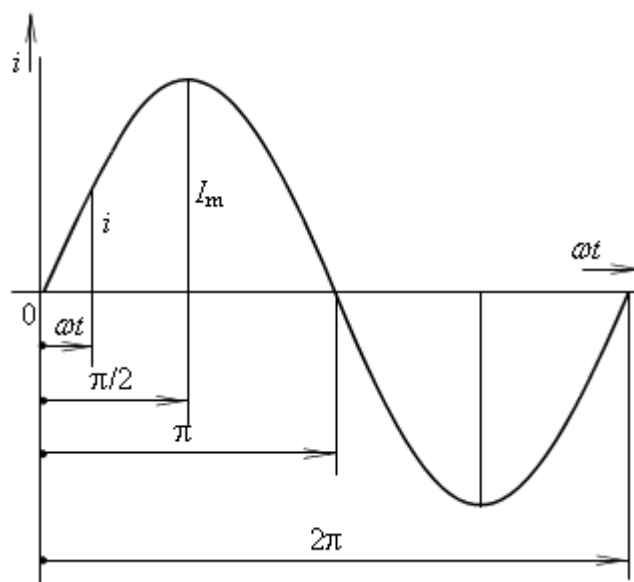
4.4 Aplikační programy

Jsou úzce specializované pro určitý konkrétní přístroj či modul, jejich použitelnost je omezena obvykle jen na jednoduché aplikace. Většinou umožňují přenos dat do počítače a jejich grafickou interpretaci, v některých případech i jednoduchou analýzu. Jejich použití je vhodné pro následnou prezentaci naměřených dat, příznivá je také nízká cena. Univerzální programové balíky pro měření umožňují sběr, zpracování, prezentaci a archivaci dat v měřicích systémech založených jak na měřicích kartách, tak na standardizovaných sběrnicích.

Výběr podporovaných typů karet, rozhraní, měřicích přístrojů, modulů a dalších technických prostředků je vždy ale omezený. Proto jsou u těchto univerzálních programů často k dispozici prostředky pro tvorbu požadovaných ovládačů. Hlavní výhodou je značné zjednodušení programování měřicího systému, které nevyžaduje znalost vyššího programovacího jazyka. Programování spočívá ve využití systému menu nebo ikon, pomocí nichž se definuje posloupnost požadovaných operací pro sběr a následné zpracování dat.

5 HARMONICKÁ ANALÝZA

5.1 Hodnoty střídavého proudu a napětí [2, 7]



Obr. 9 Střídavý proud sinusového průběhu

Střídavý proud se mění velikostně mezi extrémními hodnotami $+I_m$ a $-I_m$, nelze jej tedy zapsat jedinou hodnotou, která by popisovala jeho účinky jako u stejnosměrného proudu, podobně platí pro napětí U . Proto se zavádí několik různých hodnot :

- **MAXIMÁLNÍ** – absolutní nejvyšší hodnota z extrémních hodnot $+I_m$ a $-I_m$, označení I_{max} , I_m , U_{max} , U_m .

- **OKAMŽITÁ** – v každém okamžiku různá podle matematické funkce (někdy se obtížně stanovuje), opakuje se s dobou periody T , označení i , $i(t)$, u , $u(t)$. Na osciloskopu je vidět její zobrazený časový průběh.

- **EFEKTÍVNÍ** – vyjadřuje stejné tepelné účinky (příp. mechanickou práci) jako by vykonal stejnosměrný proud o téže hodnotě, vypočte se:

$$I_{ef} = \sqrt{\left(\frac{1}{T} * \int (i^2(t) * dt)\right)},$$

označení I , I_{ef} , I_{rms} , U , U_{ef} , U_{rms} .

Pro čistě sinusový průběh platí vztah:

$$I_{ef} = \frac{I_{max}}{\sqrt{2}}$$

Bývá uváděná na stupnicích většiny měřicích přístrojů (voltmetr, ampérmetr), přesně ji však ukazují jen přístroje tepelné, feromagnetické, elektrodynamické, magnetoelektrické s termočlánekem, s termistorem, s kvadrátorem nebo exponenciálním zesilovačem.

▪ **STŘEDNÍ** – vyjadřuje stejné elektrochemické účinky jako stejnosměrný proud, pro čistý sinusový průběh je nulová, aby se dala vyjádřit, stanovuje za půlperiodu nebo z dvoucestně usměrněného průběhu, matematicky se vypočítá:

$$I_{stř} = \frac{1}{T} * \int i(t) * dt ,$$

označuje se I_{am} , $I_{stř}$, I_0 , U_{am} , $U_{stř}$, U_0 . Ukazuje ji magnetoelektrický nebo číslicový přístroj doplněný jednocestným nebo dvoucestným usměrňovačem. Pro čistě sinusový průběh platí vztah:

$$I_{stř} = \frac{2}{\pi} * I_{max}$$

V harmonické analýze určuje stejnosměrnou složku průběhu.

▪ **ČINITEL TVARU** – poměr efektivní a střední hodnoty:

$$K_t = \frac{I}{I_{stř}}$$

Pro sinusový průběh platí: $K_t = 1,11$.

▪ **ČINITEL VÝKYVU** – poměr maximální a efektivní hodnoty:

$$K_v = \frac{I_m}{I}$$

Pro sinusový průběh platí: $K_v = 1,41$.

▪ **ČINITEL PLNĚNÍ** – poměr střední a maximální hodnoty:

$$K_p = \frac{I_{stř}}{I_m}$$

Pro sinusový průběh platí: $K_p = 0,64$.

Součin všech činitelů $K_t * K_v * K_p$ je vždy roven 1.

5.2 Harmonické a neharmonické periodické funkce [2, 7]

Harmonické funkce jsou periodické funkce, jejichž průběh lze popsat funkcí sinus nebo kosinus (jako sinus jen s fázovým posuvem $+90^\circ$), případně těmito funkcemi s počátečním fázovým posunem. Úkolem harmonické analýzy je rozložit libovolný periodický signál na součet harmonických složek. Původem neharmonických průběhů v elektrických obvodech (deformace sinusového tvaru průběhu) jsou :

- špatný zdroj signálu – oscilátor, generátor se zkreslení .
- nelineární pasivní prvky v obvodu – termistor, varistor, variátor, doutnavka apod.
- aktivní prvky – diody, tranzistory, tyristory, triaky apod.

Každou periodickou funkci lze rozložit a nahradit těmito složkami :

- stejnosměrná složka - odpovídá střední hodnotě průběhu I_0 , U_0 .
- základní (první) harmonická – vyjadřuje efektivní hodnotu sinusového průběhu I_1 ,

$$U_1 \text{ o frekvenci } f_1 \text{ odpovídající periodě určovaného signálu } f_1 = \frac{1}{T}$$

- vyšší harmonické – jsou efektivní hodnoty I_k , U_k sinusových průběhů o frekvenci celistvých kladných násobků základní frekvence f_1 , $f_k = k * f_1$, kde $k = 2 ; \infty$) .
- nižší (sub) harmonické – používají se jen někdy u kvaziperiodických průběhů (časově přerušované signály – regulace výkonů spotřebičů) o frekvenci $f = f_1 / k$, nezpůsobují deformaci průběhu, jen proudové rázy ve zdrojích, mohou vyvolat přechodné jevy v obvodech RLC při zapínání a vypínání obvodu .

Náhradní obvod po analýze se skládá ze sériového zapojení zdrojů napětí (paralelního zapojení zdrojů proudu) všech vypočtených složek a časový průběh se získá z okamžitých hodnot, vzniklých algebraickým součtem všech složek v daném čase. Lze takto stanovit požadavky na vlastnosti elektronických obvodů pro zpracování signálů (impulsní zesilovače, generátory tvarových kmitů), v energetice pak vliv (účinky) na připojená zařízení. Stejnosemnná složka způsobuje předmagnetizaci obvodů s transformátory a motory (posuv pracovních bodů, zvětšení ztrát) a vznik vyrovnávacích proudů ve vinutí a přívodech (ohřev, ztráty, snížení přenášených výkonů). Vyšší harmonické zvyšují v elektrických obvodech ztráty, v dielektriku ohřev $P = \omega * C * U^2 * \tan \delta$ (činitel ztrát $\tan \delta$ bývá závislý na f) , v magnetických obvodech vznikají ztráty hysterezní $P = k * f * B^2$ a vířivými proudy $P = k * f^2 * B^2$ (konstanta k se určí podle konkrétního magnetického obvodu), v motorech vznikají přídatné mechanické momenty a výkon stroje se snižuje, u sdělovacích zařízení se projevují rušením v oblasti DV až UHF (vysoké harmonické ovlivní příjem rozhlasu, televize, spojovacích kanálů) .

Proto je nutné složky potlačovat vhodným návrhem obvodů (s diodami, tranzistory, tyristory) , zapojením a konstrukcí strojů (spojení vinutí do trojúhelníka odstraní 3.harm a její liché násobky, uspořádání vinutí motorů účinně potlačuje 5. a 7. harm, kvalitní magnetické materiály mají lineární charakteristiky) , odstínění obvodů potlačí pronikání rušení (zejména vf), filtry potlačují konkrétní harmonickou složku (sériové a paralelní RLC obvody naladěné na určitý kmitočet) .

Příklad rozkladu napětí obdélníkového průběhu s frekvencí 50 Hz ($\omega = 314 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$) a amplitudou 10 V na sedm harmonických složek. (Kdybychom požadovali vyšší přesnost, museli bychom počítat více harmonických.)

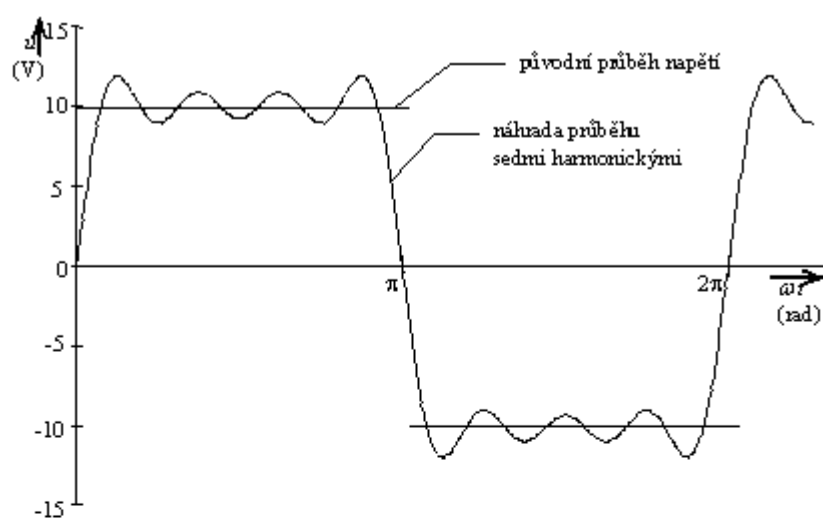
Pro toto obdélníkové napětí rozložené na 7 harmonických platí:

$$u(t) = 12,73 \cdot \sin(\omega t) + 4,24 \cdot \sin(3 \cdot \omega t) + 2,55 \cdot \sin(5 \cdot \omega t) + 1,82 \cdot \sin(7 \cdot \omega t)$$

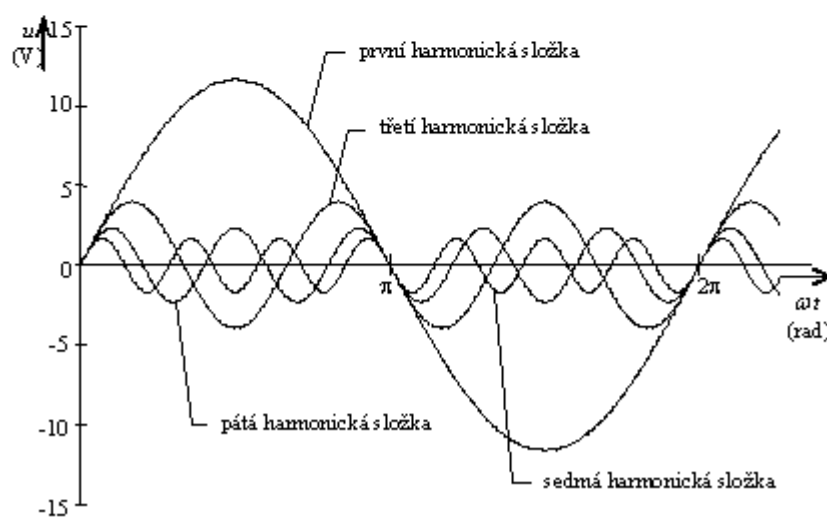
první harmonická
třetí harmonická
pátá harmonická
sedmá harmonická

Průběh neobsahuje druhou a čtvrtou harmonickou složku (žádné sudé), protože je symetrický podle časové osy.

Původní průběh i jeho náhradu pomocí pěti harmonických složek ukazuje obr. 9.



Náhrada průběhu sedmi harmonickými



Rozklad původního průběhu na jednotlivé harmonické složky

Obr. 10 Náhrada obdélníkového průběhu řadou vyšších harmonických

5.3 Fourierova řada [12]

Periodické signály se vyjadřují časovými funkcemi, které vyhovují podmínce:

$$f(t) = f(t + n * T)$$

pro $n = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$

Základem harmonické analýzy je tzv. Fourierova věta :

„Libovolná periodická funkce $f(t)$, splňující určité podmínky, se může nahradit nekonečnou goniometrickou řadou harmonických funkcí ve tvaru :“

$$f(t) = A_o + A_1 * \cos(\omega t) + A_2 * \cos(2 * \omega t) + A_3 * \cos(3 * \omega t) + A_4 * \cos(4 * \omega t) + \dots$$

$$\dots + B_1 * \sin(\omega t) + B_2 * \sin(2 * \omega t) + B_3 * \sin(3 * \omega t) + B_4 * \sin(4 * \omega t) + \dots$$

nebo

$$f(t) = A_o + \sum_{k=1}^{\infty} [A_k * \cos(k \omega t) + B_k * \sin(k \omega t)]$$

nebo

$$f(t) = C_o + \sum_{k=1}^{\infty} C_k * \cos(k \omega t - \varphi_k)$$

Převodní vztahy :

$$A_o = C_o \quad C_k = \sqrt{A_k^2 + B_k^2} \quad \varphi_k = \arctg \frac{B_k}{A_k}$$

$$A_k = C_k * \cos \varphi_k \quad B_k = C_k * \sin \varphi_k$$

Úkolem harmonické analýzy je stanovit hodnoty Fourierových činitelů A_k a B_k nebo častěji amplitud C_k a fázových posuvů φ_k pro jednotlivé harmonické k , pro některé speciální funkce $f(t)$ nemusí obsahovat Fourierova řada všechny složky, příslušné koeficienty

jsou v těchto případech nulové :

- Bez stejnosměrné složky $A_0 = C_0 = 0$ - plochy křivky (průběhu) nad a pod časovou osou jsou stejné

- Lichá funkce – průběh je souměrný kolem počátku os (bodu 0), $f(t) = -f(-t)$ nebo $f(-t) = -f(t)$, obsahuje sinové složky a je vždy bez střední hodnoty .

- Sudá funkce – průběh je souměrný kolem svislé osy (osa napětí, proudu), $f(t) = f(-t)$, obsahuje jen kosinové složky a střední hodnota může být 0.

- Funkce s opakováním v druhé půlperiodě s opačným znaménkem, $f(t) = -f(t + T/2)$, obsahuje jen liché harmonické bez střední hodnoty, existují však sinové i kosinové složky – velmi častý případ v silnoprůdých el. obvodech.

- Funkce s opakováním v druhé půlperiodě se stejným znaménkem, $f(t) = f(t + T/2)$, obsahuje jen sudé harmonické, stejnosměrná složka nemusí být, sinové a kosinové složky existují.

5.4 Metody harmonické analýzy [13]

1. Matematické – vedou na výpočet mnoha integrálů, jsou velmi pracné a složité, ale velmi přesné, je však nutno znát vyjádření funkce $f(t)$:

$$A_0 = \frac{1}{T} * \int_0^T f(t) * dt$$

$$A_k = \frac{2}{T} * \int_0^T f(t) * \cos(k \omega t) dt$$

$$B_k = \frac{2}{T} * \int_0^T f(t) * \sin(k \omega t) dt$$

2. Numerické – řeší se na počítačích, není nutné znát vzorec pro funkci $f(t)$, integrály se nahrazují přibližnými součty, perioda se rozdělí na sudý počet dílků N podle požadované nejvyšší harmonické k podle vztahu $N \geq (2 * k + 2)$ nebo $k \leq (N - 2)/2$, vyjádří se hodnoty (délky) všech pořadnic y_i ($y_1, y_2 \dots y_n$) a vypočtou se složky:

$$A_0 = \frac{1}{N} * \sum_{n=1}^N y_n$$

$$A_k = \frac{2}{N} * \sum_{n=1}^N y_n * \cos \frac{2\pi k n}{N}$$

$$B_k = \frac{2}{N} * \sum_{n=1}^N y_n * \sin \frac{2\pi k n}{N}$$

kde n je číslo dílku (1 až N) , y_n je délka pořadnice, $\frac{2\pi k n}{N}$ je úhel polohy pro danou harmonickou .

Efektivní hodnotu lze vypočítat:

$$EF = \sqrt{\frac{1}{N} * \sum_{n=1}^N \left(\frac{y_n + y_{n-1}}{2} \right)^2}$$

Pro velký počet dílků ($N > 100$) lze zjednodušit:

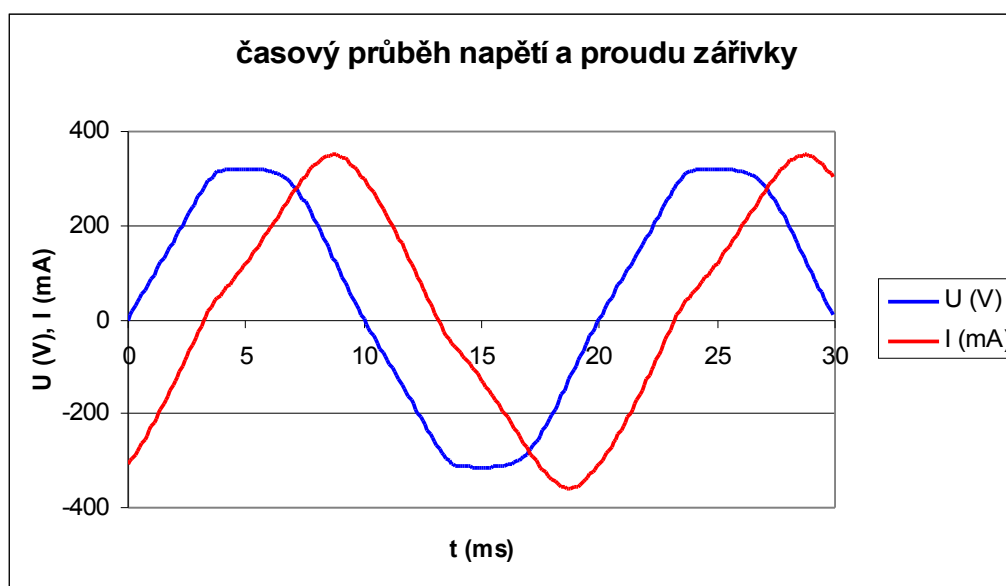
$$EF = \sqrt{\frac{1}{N} * \sum_{n=1}^N y_n^2}$$

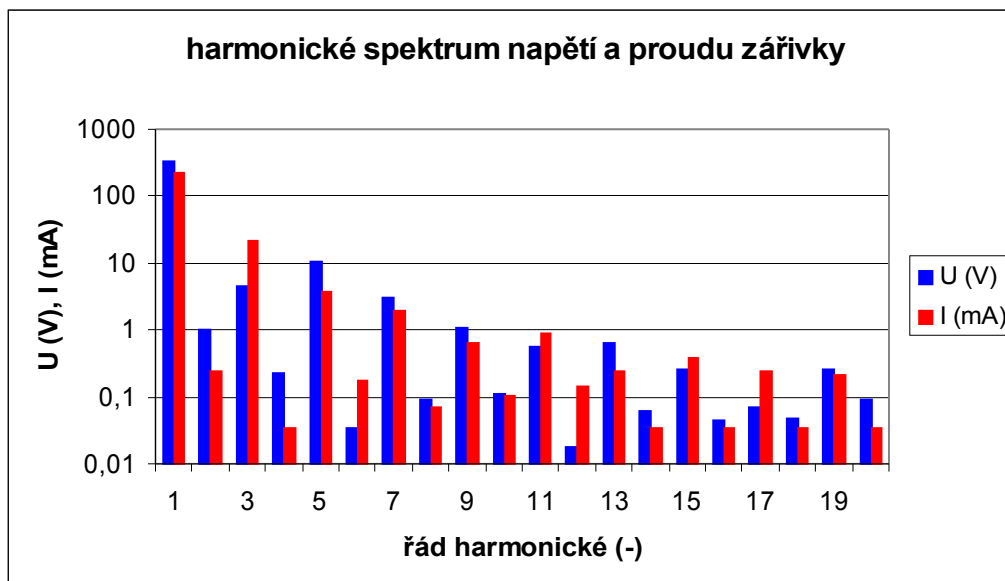
3. Měřicí – nejméně pracné, ale vyžaduje složitý měřicí přístroj – harmonický analyzátor, většinou zobrazí jen hodnoty C_0 a C_k bez fázového posuvu φ_k , využívá sériových rezonančních obvodů naladěných na příslušnou harmonickou a voltmetr ukáže přímo hodnotu U nebo I dané složky, obvody je nutné přelad'ovat, na nízkých f nelze zajistit velké činitele jakosti obvodu Q (ztrátový odpor cívky, snižuje se selektivita obvodu), někdy se používají selektivní RC články.

4. FFT – rychlá Fourierova transformace je doplňující funkcí u digitálních osciloskopů (DSO), harmonické se počítají numerickou metodou ze změřeného průběhu z kurzory vyznačené oblasti periody (novější DSO dokáží samy nalézt periodu), přesnost výpočtů je omezena počtem vzorků na periodu (tzv. vzorky – samplý), výsledky lze zobrazit číselně podle příslušných harmonických nebo graficky jako frekvenční spektrum (častěji používáno).

5.5 Spektrum signálů

Zápis Fourierova rozvoje je příliš složitý (hlavě ve složkovém tvaru), proto se častěji používá grafické znázornění. Na vodorovnou osu se vynáší řád harmonické nebo přímo kmitočty, na svislé osy buď složky (málo názorné) nebo častěji amplitudy a fáze (-180° až $+180^\circ$), odpovídající čárová spektra se kreslí zásadně nad sebe, spojnice vrcholů úseček tvoří tzv. obalovou křivku. Spektrum teoreticky nikde na frekvenční nekončí, pro praxi mají největší význam nízké harmonické, amplitudy vysokých harmonických prudce klesají s výjimkou obdélníkových a Diracových (jednotkových) impulsů, kde i vysoké harmonické jsou velikostně srovnatelné s první harmonickou. Spektrum neperiodického (jednotlivého) impulsu má frekvenci $f_o \rightarrow 0$, $T \rightarrow \infty$; vzdálenost čar jednotlivých harmonických je rovna f_o , což znamená, že čárové spektrum se změní ve spojitě a obálka bude kreslena plnou čarou, takovýto signál se skládá z vysokého počtu harmonických.





Obr. 11 Příklad harmonického spektra

5.6 Šířka frekvenčního pásma

Teoretická šířka by měla být nekonečně velká, tomuto požadavku by však musely odpovídat všechny obvody – zesilovače, snímače, převodníky; v praxi tyto vysoké nároky nelze nikdy splnit, je tedy nutné stanovit šířku pásma, aby se informace přenesla dostatečně věrně s přijatelným omezením, zkreslením nebo ztrátou. Energie signálu je přenášena ve stejnosměrné složce a jednotlivých harmonických, nejčastěji se připouští ztráta 5% ve vyšších harmonických, což ještě nezpůsobí znatelné zkreslení čela a týlu signálů, velký problém nastane u impulsů, neboť vyšší harmonické zrychlují dobu nárůstu čela a pokles týlu („hranatí“ tvar).

5.7 Činitel zkreslení (THD)

Udává velikost odlišnosti (tvarové deformace) od ideálního sinusového průběhu první harmonické, stejnosměrná složka nemá vliv, deformace způsobují jen vyšší harmonické, výsledný tvar průběhu závisí nejen na amplitudách, ale i fázových posuvech vůči základní harmonické složce.

Činitel zkreslení se vypočte :

$$K = \sqrt{\frac{C_2^2 + C_3^2 + C_4^2 + \dots + C_n^2}{C_1^2 + C_2^2 + C_3^2 + C_4^2 + \dots + C_n^2}}$$

Pro malé zkreslení

$$K = \frac{\sqrt{C_2^2 + C_3^2 + C_4^2 + \dots + C_n^2}}{C_1}$$

Měřením se zkreslení stanovuje takto :

- Změří se obsah všech harmonických, tím se nastaví 100% signálu.
- Pomocí laděného filtru (např. paralelní LC obvod nebo selektivní RC článek) se potlačí první harmonická, zbývající harmonické pak udávají činitel zkreslení.

Častěji se určuje činitel zkreslení výpočtem z úrovní harmonických.

6 REALIZACE APLIKACE

6.1 Použité vývojové prostředí – LabView 8.5

Programovací a vývojové prostředí LabView čili „laboratorní pracoviště virtuálních přístrojů“, je produktem americké firmy National Instruments. Prostředí LabView , někdy nazývané též jako G-jazyk (tedy „grafický“ jazyk), je vhodné nejen k programování systémů pro měření a analýzu signálů, řízení a vizualizaci technologických procesů různé složitosti, ale také k programování složitých systémů, jako je třeba robot [4].

LabView – nástroj virtuální instrumentace. Hlavním cílem virtuální instrumentace je nahradit dočasně nebo i trvale prostorově, finančně a mnohdy i časově náročné využití technických prostředků (hardware) řešením virtuálním (zdánlivým) za přispění programových prostředků (software) a zejména pak grafickými a vizuálními prostředky a zprostředkovat tak uživateli maximální názornost. Toto řešení umožňuje rychlé navrhování nových aplikací i provádění změn v konfiguraci, což je u realizace skutečnými nástroji za pomoci reálných součástek často velice nákladné nebo přímo nemožné.

LabView je vývojovým prostředím pro vytváření aplikací, tzv. virtuálních přístrojů, orientovaných na oblasti měření, zpracování a užití naměřených dat. Uživatelské rozhraní navrženého programu v LabView má podobu čelního ovládacího panelu měřicího přístroje. Přes jeho objekty (ovládací a indikační prvky) lze řídit běh aplikace, zadávat parametry a získávat informace o zpracovaných výsledcích.

Vlastní program je reprezentován graficky blokovým schématem. Program neběží sekvenčně, výpočet je řízen tokem dat. Blok zahájí výpočet v okamžiku, kdy má data na všech vstupech, po zpracování posílá výsledky na všechny výstupy. Procesy jednotlivých bloků tedy

běží (s ohledem na hardware a operační systém) paralelně [5].

6.2 Multifunkční měřicí karta pro sběr dat

V této práci byla použita multifunkční měřicí karta pro sběr dat, připojená k PC přes USB sběrnici, od firmy National Instruments, typ NI USB-6210.



Obr. 12 Multifunkční měřicí karta NI USB-6210

Vybrané technické parametry [11]:

Základní

Komunikační sběrnice	USB
Operační systém	Windows, Linux, Mac OS
Způsob měření	Kvadratické kódování, napětí

Analogový vstup

Počet kanálů	16 SE/8 DI
Vzorkovací kmitočet	250 000 vzorků/s
Rozlišení	16 bitů
Simultánní vzorkování	Ne
Maximální rozsah napětí	-10..10 V

Přesnost	2.69 mV
Citlivost	91.6 μ V
Minimální rozsah napětí	-200..200 mV
Přesnost	0.088 mV
Citlivost	4.8 μ V
Počet rozsahů	4
Paměť	4095 vzorků
Analogový výstup	
Počet kanálů	0

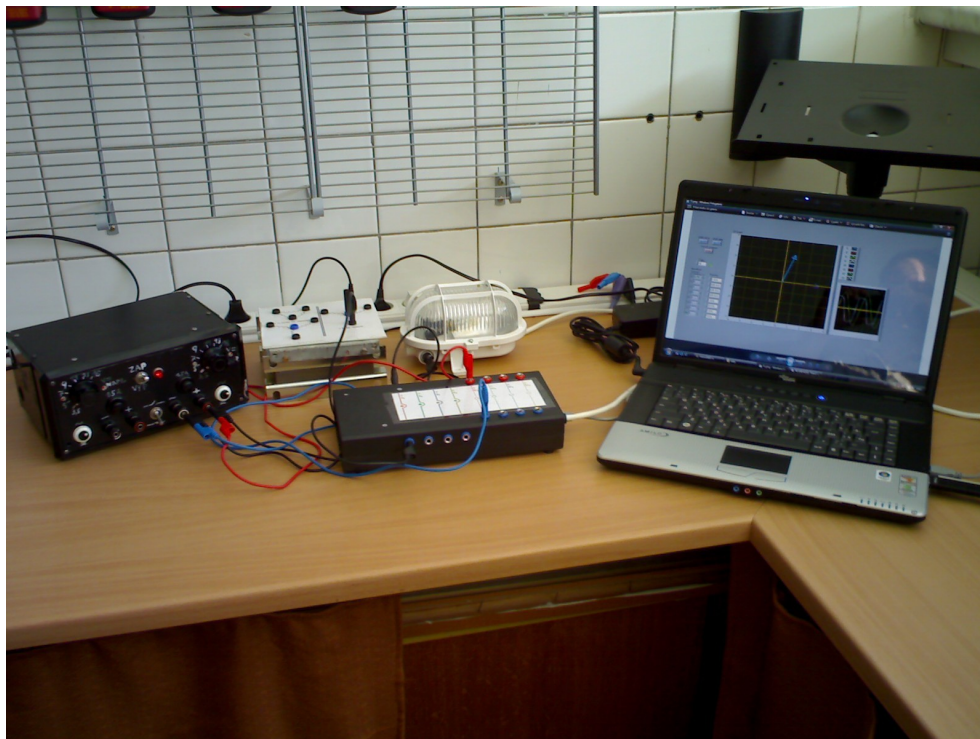
6.3 Zapojení pracoviště

6.3.1 Použité přístroje

- PC s programovým vybavením LabView 8.5.
- Zdroj střídavého proudu.
- Přípravek pro měření napětí a proudu v obvodu s čidly LEM a implementovanou kartou („Vstupní převodník“).
- Rezistor, kondenzátor, cívka.
- Kabeláž.

Vstupní převodník [6] - Pro připojení měřených napětí a proudů k měřicí kartě byl vytvořen na Katedře obecné elektrotechniky měřicí přípravek (vstupní převodník), který pro měření napětí obsahuje odporové děliče a pro měření proudů čidla LEM (čidla s Hallovoú sondou). Převodník umožňuje měřit čtyři napětí v diferenciálním zapojení až do ± 100 V a čtyři proudy (proudové vstupy jsou zcela galvanicky oddělené) do hodnot ± 2 A. Vstupní převodník i karta pro sběr dat byly zabudovány do jedné skřínky.

6.3.2 Měřicí pracoviště



Obr. 13 Zapojené měřicí pracoviště

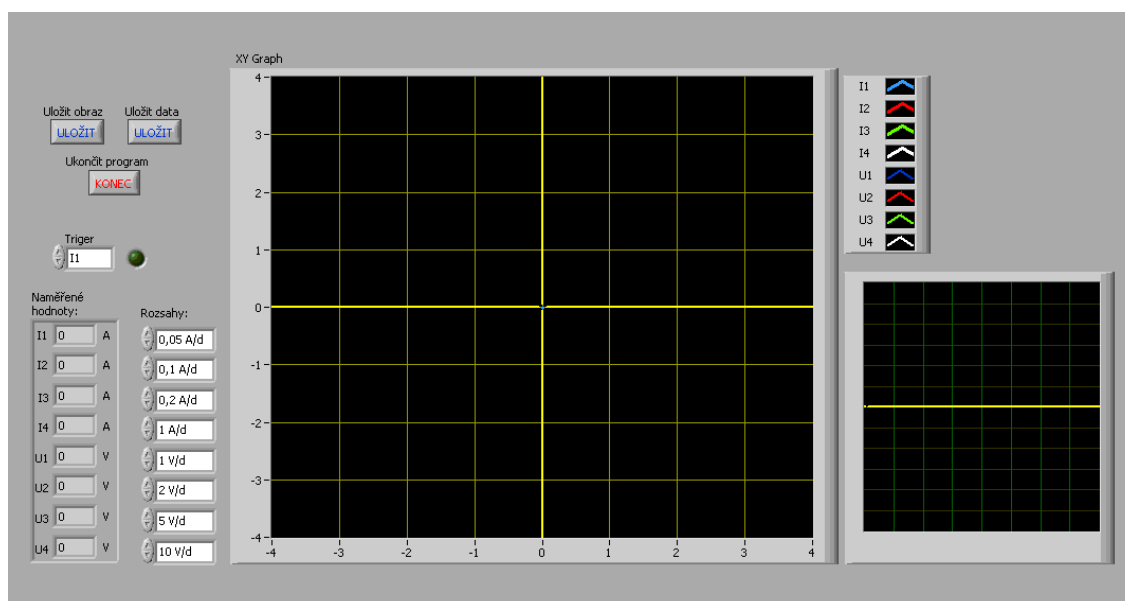
6.4 Fázoroskop

6.4.1 Popis aplikace

Vytvořená aplikace s připojeným „vstupním převodníkem“ umožňuje sbírat data na osmi kanálech současně (čtyři proudové a čtyři napět'ové vstupy).

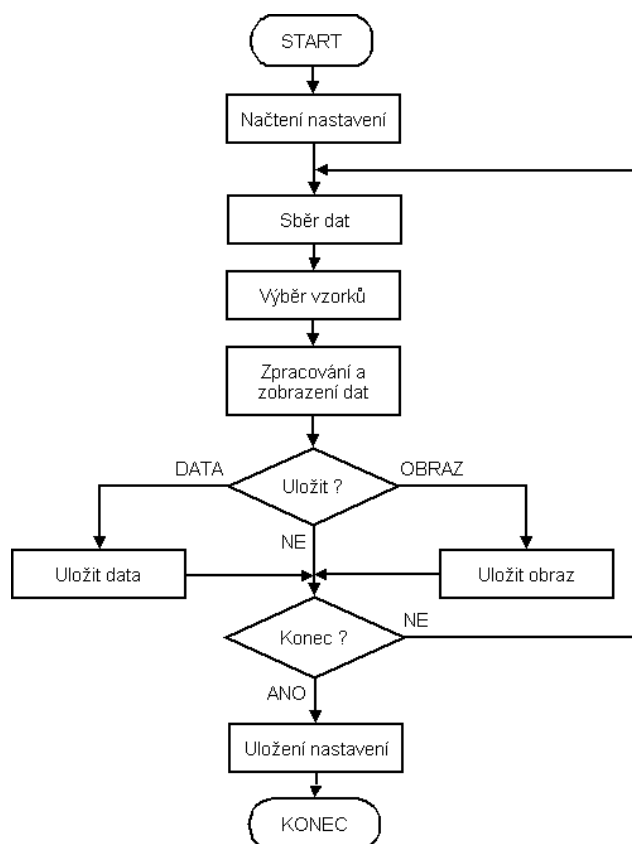
Program z naměřených harmonických průběhů napětí a proudu vypočítá velikost a fázi první harmonické a zobrazuje přímo fázorový diagram, což ani jiným způsobem než počítačem není možné. Na takto zobrazeném fázorovém diagramu, který odpovídá přímo hodnotám naměřeným v obvodě se dá názorně naznačit , jak se sčítají napětí a proudy v obvodě pomocí fázorů.

Po spuštění programu je zobrazen čelní ovládací panel aplikace, který se skládá z panelu ovládání, obrazovky zobrazující naměřené časové průběhy napětí a proudů a grafu zobrazující fázorové diagramy, viz. obr. 14.



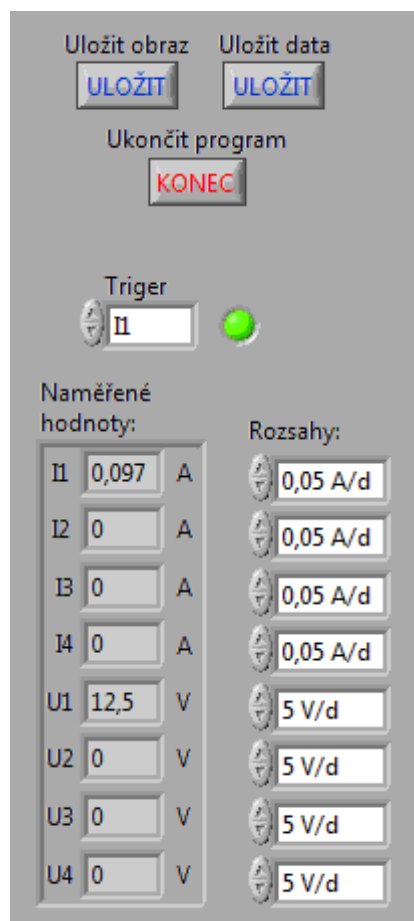
Obr. 14 Panel aplikace

6.4.2 Vývojový diagram



6.4.3 Ovládání

Ovládání aplikace je jednoduché a intuitivní. Na ovládacím panelu jsou zobrazeny hodnoty naměřených proudů a napětí jednotlivých měřených kanálů. U jednotlivých měřených



kanálů je možno pomocí tlačítek „▲“ a „▼“ měnit rozsahy:

Proud **I** : 0,05 A/dílek; 0,1 A/dílek; 0,2 A/dílek;
 0,5 A/dílek; 1 A/dílek

Napětí **U** : 1 V/dílek; 2 V/dílek; 5 V/dílek;
 10 V/dílek; 20 V/dílek

Pomocí tlačítka *Triger* „▲“ a „▼“ lze nastavit podle, kterého kanálu bude měření spuštěno (I1 až I4 nebo U1 až U4).

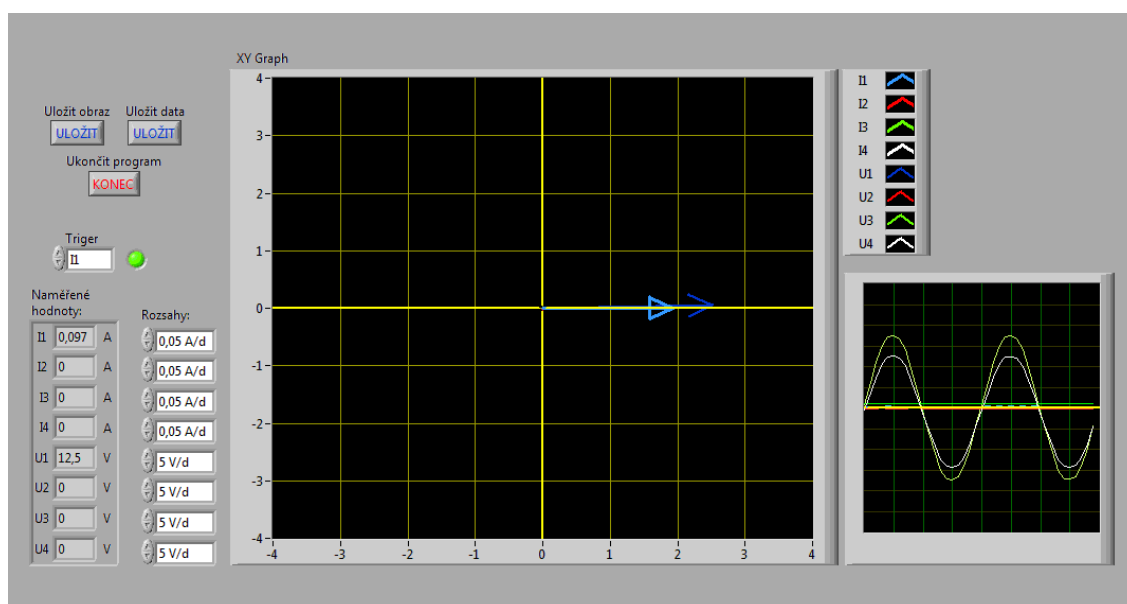
Stisknutím tlačítka *Uložit obraz*, je měření přerušeno a otevře se dialog pro uložení souboru ve formátu *.png. Je ukládán celý obraz okna programu „Fazor.exe“. Po uložení souboru, měření pokračuje.

Stisknutím tlačítka *Uložit data*, je měření přerušeno a otevře se dialog pro uložení souboru ve formátu *.txt. Jsou ukládána naměřená data I, U, ϕ , datum a čas měření. Po uložení souboru, měření pokračuje.

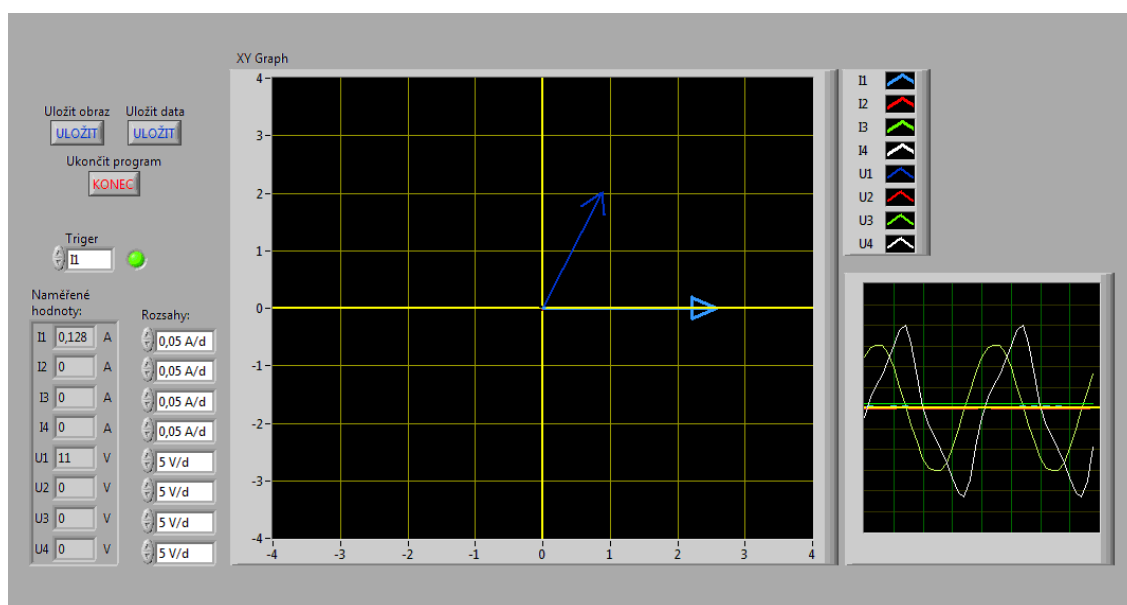
Program je možno ukončit tlačítkem *Ukončit program*.

Obr. 15 Panel ovládání

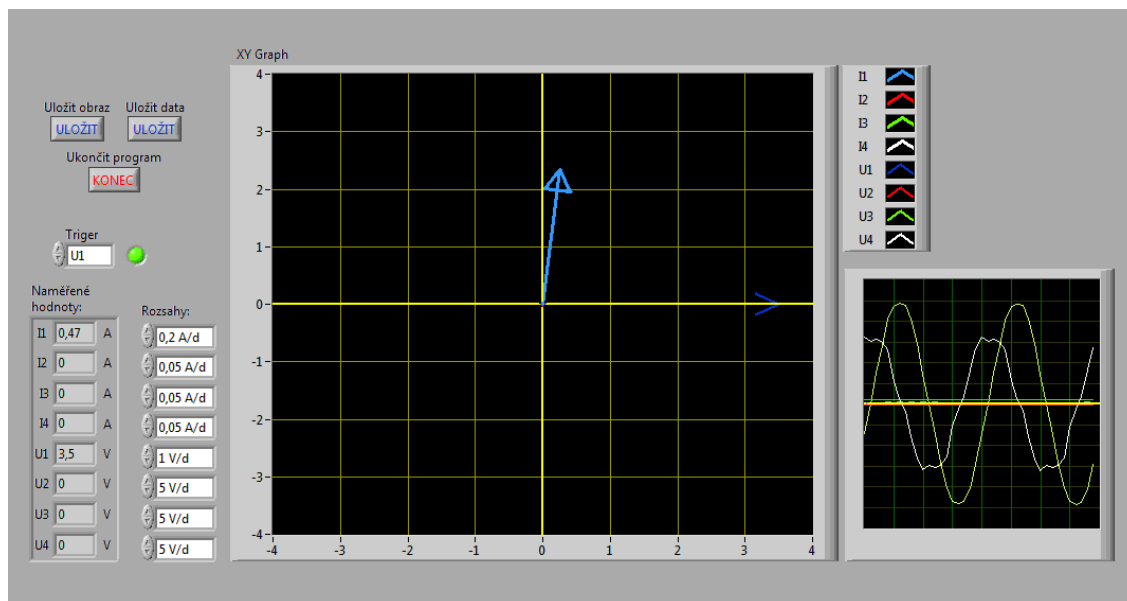
6.5 Příklady naměřených dat



Obr. 16 Fázorový diagram R obvodu



Obr. 17 Fázorový diagram L obvodu



Obr. 18 Fázorový diagram C obvodu

7 ZÁVĚR

Měřicí pracoviště je určeno studentům Katedry obecné elektrotechniky pro zobrazení fázorových diagramů. Tyto fázorové diagramy jsou jiným způsobem těžko zobrazitelné.

Velkou výhodou je možnost zobrazení více průběhů současně, což je potřebné pro názorné vysvětlení dějů v některých obvodech.

Zavedení tohoto měřicího pracoviště do výuky jistě zvýší atraktivitu předváděné látky, což je při výuce velmi potřeba. Zároveň mnohé jevy, předtím uváděné jen v literatuře, či na tabuli mají nyní studenti možnost vidět ve skutečnosti, což výrazně zlepší možnost pochopení látky. A taktéž se tímto studenti při laboratorní výuce seznámí s virtuální instrumentací (využití PC k měření).

8 LITERATURA

8.1 Literatura

- [1] Haasz V. – Sedláček M.: Elektrická měření
ČVUT, Praha 2003
- [2] Ing. Václav Kolář, VŠB - TU Ostrava: Elektrické obvody střídavého proudu
- [3] Doc. Ing. Jan Židek, CSc.: Informatika ve zkušebnictví
- [4] Havlíček Josef, Vlach Jaroslav, Vlach Martin, Vlachová Viktorie: Začínáme s LabWiev
BEN - technická literatura 2008
- [5] Radek Votrubec: LabWiev for Windows
Technická univerzita v Liberci 2000
- [6] Ing. Václav Kolář, VŠB - TU Ostrava: Měření s využitím PC v laboratoři obecné elektrotechniky
- [7] Pavol Hraško, Ivan Puzjak: Elektrotechnika
SNTL Alfa 1987

8.2 Internetové zdroje

- [8] FCC průmyslové systémy s.r.o.
www.fccps.cz/default.asp
- [9] Otto Havle: Zásuvné desky do PC pro automatizaci a řízení
<http://www.automatizace.cz/article.php?a=1456>
- [10] Leroy Davis: Electronic Interface Buses
<http://www.interfacebus.com>
- [11] <http://www.ni.com/czech>
- [12] ÚM FSI VUT v Brně: Fourierovy řady
<http://mathonline.fme.vutbr.cz/Fourierovy-rady/sc-73-sr-1-a-60/default.aspx>
- [13] Harmonická analýza
<http://slaboproud.sweb.cz/elt2/stranky1/elt048.htm>

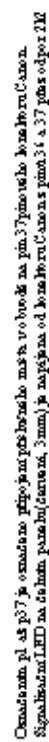
9 PŘÍLOHY

9.1 Seznam příloh

- I. Hlavní blokový diagram.
- II. Schéma zapojení „vstupního převodníku“.
- III. Obsah CD-ROM.

9.1.1 I. Hlavní blokový diagram





9.1.3 III. Obsah CD-ROM

Přílohou k této práci je nosič CD-ROM s následujícím obsahem:

- Texty:

NAZEV\nazevBc.cz

\nazevBc.en

ABSTRAKT\abstrakt.cz

\abstrakt.en

KLICOVASLOVA\klicovaSlova.cz

\klicovaSlova.en

BAKALARSKAPRACE\MilanVyvleckaBC.odt

\MilanVyvleckaBC.pdf

- Software

ZDROJOVYKOD\fazorProXYgraf.vi

\kontinualniMereniDAQmx.vi

\mereni0819a.vi

\mereni.vi

\nasobeniMeritkem.vi

\nastaveniPath.vi

\pripravaXYgrafu.vi

\ulozeniDat.vi

APLIKACE\fazor.exe

DATA\data.txt

\konstanty.txt